Vol.11, No.1, Spring 2022, pp.141-162 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.71591.1091 Open access

Frequency Analysis of Dangerous Extreme Rainy Days in IRAN

Sayyed Mohammd Hosseini[a*], Sirus Nabiuni[b]

[a] *Assistant Professor in Climatology, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran*
[b] *PhD in Climatology, National Geographical Organization, Tehran, Iran*

Received: 21 July 2021 ***Revised: 4 October 2021*** ***Accepted: 20 October 2021***

Abstract

Today, rainfall hazards create wide crisis in terms of military, security and social issues, because the tensions in rural and social destruction of the natural environment have led to violent conflicts. For analyzing the extreme rainy days in Iran, daily data of extreme rainy days in 235 synoptic stations in the period from 3/21/1961 to 03/20/2019 (21549 days) were used. Therefore, a database of a matrix of 21549×235 was created. Rows show time and columns show the stations. Using Euclidean distance and Ward linkage, extreme rainy days were classified into four regular rain clusters. The results showed that the first cluster (days with relatively heavy rain) with a frequency of 87% of the stations is widely distributed in Iran. The second cluster (semi-heavy rain) with 9 percent is limited to a few stations in the eastern coast of the Caspian Sea and the western side of the Zagros Mountains. The third cluster (heavy rain) with 3% of stations is located on the shore of the Caspian Sea and western Zagros mountains stations in Astara, Baboulsar, Noushahr, Ramsar, Rasht, Kouhrang and Yasouj. Finally, the fourth cluster (super heavy rain) with 1 percent, occurs only in Bandar Anzali station. It seems that the frequency of extreme rainy days in Iran tends to cluster and comply with topography and distance or proximity to the sea. The results of the present study showed that the stations located in western Iran have many rainy days due to their special geographical location in the Zagros Mountains and the influence of westerly winds.

Keywords: Rain Hazards, Cluster Analysis, Extreme Rainy Days, IRAN

* Corresponding author: Sayyed Mohammd Hosseini E-mail: h.climate@yahoo.com Tel: + 989384694588

How to cite this Article: Hosseini, S., & Nabiuni, S. (2022). Frequency Analysis of Dangerous Extreme Rainy Days in IRAN. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(1), 141-162.
DOI: 10.22067/geoeh.2021.71591.1091

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 1 - Number 41, Spring 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71591.1091

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارۀ چهل و یکم، بهار ۱۴۰۱، صص ۱۶۲-۱۴۱

مقاله پژوهشی

واکاوی فراوانی روزهای باران‌فرین مخاطره‌آمیز در ایران

سید محمد حسینی[۱]- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.
سیروس نبیونی- دکتری آب و هواشناسی، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۳۰   تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۱۲   تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۷/۲۸

چکیده

امروزه مخاطرات بارشی، بحران‌های گسترده‌ای را به لحاظ نظامی، امنیتی و اجتماعی ایجاد می‌کنند؛ چراکه این تنش‌ها، در قالب فروسایی و تخریب محیط طبیعی گاه به تعارضات خشونت‌بار اجتماعی نیز می‌انجامد. در این راستا، برای واکاوی روزهای باران‌فرین در ایران از داده‌های روزانه باران در ۲۳۵ ایستگاه همدید در بازۀ زمانی ۱۳۴۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۱۲/۲۹ خورشیدی (۲۱۵۴۹ روز) استفاده شده است. بنابراین پایگاه داده‌ای با آرایه‌ای به ابعاد ۲۳۵×۲۱۵۴۹ ایجاد شد که سطرها نمایندۀ زمان و ستون‌ها نماینده ایستگاه‌ها هستند. با استفاده از فاصله اقلیدسی و پیوند وارد، روزهای باران فرین ایران در چهارخوشه بارش منظم قرار گرفت. نتایج نشان داد خوشه اول (روزهای همراه با باران نسبتاً سنگین) با فراوانی ۸۷ درصد ایستگاه‌ها، پراکنش سراسری در کشور دارد. خوشه دوم (باران‌های نیمه سنگین) با ۹ درصد، محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. خوشه سوم (باران‌های سنگین) با ۳ درصد ایستگاه‌ها در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و غرب ارتفاعات زاگرس در ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، نوشهر، رامسر، رشت، کوهرنگ و یاسوج واقع شده است و درنهایت، خوشه چهارم (باران‌های ابرسنگین) با ۱ درصد، فقط در ایستگاه بندرانزلی رخ می‌دهند. به نظر می‌رسد فراوانی روزهای باران فرین در ایران، میل به خوشه‌ای شدن و لانه‌گزینی دارد و در تبعیت با توپوگرافی و دوری یا نزدیکی به دریا است.

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۸۴۶۹۴۵۸۸   Email: h.climate@sjau.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

حسینی، سید محمد؛ نبیونی، سیروس. (۱۴۰۱). واکاوی فراوانی روزهای باران فرین مخاطره آمیز در ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*, ۱۱(۱). صص ۱۶۲-۱۴۱

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71591.1091

کلیدواژه‌ها: مخاطرات باران، واکاوی خوشه‌ای، روزهای باران فرین، ایران.

۱- مقدمه

از دیدگاه اصـــول و اســـتراتژی‌های پایه در پدافند غیرعامل، ملاحظات نظامی و راهکارهای امنیتی، موقعیت نســـبی ایران با کشـــورهای همســـایه به‌گونه‌ای اســـت که وســـعت زیاد، شـــاهراه‌های ارتباطی متراکم، گســـترش شـــرقی- غربی ناهمواری‌های البرز و شـــمال‌غربی- جنوب‌شـــرقی زاگرس و همچنین ریخت و توپوگرافی ویژه آن، ســـبب شده است که جمهوری اســـلامی ایران از اهمیت اقلیمی، اســـتراتژیکی و ژئوپولتیکی چشمگیری برخوردار شود. در این میان، نقش مخاطرات بارشـــی و پراکنش ناهمگون آن در کشـــور از یک ســـو و رخداد باران‌های شـــدید و سیل‌زا از سوی دیگر، از اهمیت خاصـــی در ایران برخوردار اســـت؛ به‌طوری‌که گاهی این‌گونه رخدادها، می‌توانند شـــرایط امنیتی و دفاعی یک کشـــور را به‌شـــدت تحت تأثیر قرار دهند (علیجانی و هوشـــیار، ۱۳۸۷). این مقوله، برآیند پیامدهای زیانبار مخاطرات بارشـــی بر معیشـــت و فزایندگی دامنه کشـــمکش‌های محلی و ملی بر ســـر کاهش ســـطح برخورداری‌ها و هراس از تحولات ناخوشـــایند و پیش‌بینی‌ناپذیر آینده اســـت. آینده‌ای که هشـــدار آن را دیرگاهی اســـت داده‌ها و یافته‌های علمی، ســـر داده‌اند. اهمیت این امر ازآن‌جهت اســـت که تنش‌های محیط‌زیســـت در قالب فروســـایی و تخریب محیط طبیعی، حتی به تعارضـــات خشـــونت‌بار اجتماعی نیز انجامیده است (آلیسون[1]، ۲۰۱۰)؛ لذا بررسی مخاطرات اقلیمی ناشی از این دیدگاه در مواقع بحران‌های طبیعی مانند ســـیل و خشـــکســـالی، لزوم برنامه‌ریزی‌های مدون علمی و عملی را ایجاب می‌کند (رحیم‌زاده و عسگری، ۱۳۸۵؛ محمدی و ملکیان، ۱۳۹۹).

آنچه مســـلم اســـت، کاهش یا افزایش رخدادهای باران فرین به‌صـــورت آشکارا و پنهان می‌تواند بر کاهش منابع آب قابل‌دســـترس، کاهش پوشـــش گیاهی، افزایش خشـــکســـالی، گســـترش بیابان‌زایی، افزایش بارش‌های رگباری، افزایش توفان‌های گردوغبار و ریزگردها، تغییرات اکولوژی در رودخانه‌ها، افزایش زیســـت‌توده، شـــیوع امراض و بیماری‌های انســـانی، حیوانی و گیاهی و حتی امنیت ملی یک کشـــور تأثیرات قابل‌توجهی وارد نماید (آرورا و بوئر[2]، ۲۰۰۱؛ چرچ و همکـاران[3]، ۲۰۰۱؛ یو و همکاران[4]، ۲۰۰۲؛ ســـیلور[5]، ۲۰۰۸؛ هافمن و همکاران[6]، ۲۰۱۱؛ رادینویک و کریک[7]، ۲۰۱۲؛ عزیزی و روشـــنی، ۱۳۸۲؛ صـــادقی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ به‌طوری‌که امروزه واکاوی فراســـنج‌های آب و هواشـــناختی به‌ویژه باران با اســـتفاده از روش‌های پارامتری یا ناپارامتری، مطالعات آماری (ســـری‌زمانی، روند، مدل‌سازی و شبیه‌سازی) با استفاده از الگوهای محاســـباتی- ریاضـــی، ماهواره‌ای و ســـناریوهای اقلیمی و بررســـی پویهٔ زمانی- مکانی (رفتار) آن، موضـــوع

1 Alison
2 Arora and Boer
3 Church et al
4 Yu et al
5 Silver
6 Hofmann et al
7 Radinović and Ćurić

پژوهش‌های فراوانی در ایران و جهان بوده است و در اغلب این پژوهش‌ها، بر اهمیت تغییرات آب و هوایی جهان به‌ویژه در مورد متغیر آشوبناک باران، توجه ویژه‌ای شده است. برای نمونه کنکل[1]، ۲۰۰۳ در شمال آمریکا؛ هیدالگو و همکاران[2]، ۲۰۰۳ در والنسیای اسپانیا؛ هایلوک و همکاران[3]، ۲۰۰۵ در شمال آمریکا؛ بکر و همکاران[4]، ۲۰۰۶ در حوضه رودخانه یانگ تسه چین؛ فیداس و همکاران[5]، ۲۰۰۷ در یونان؛ پاتانیکا و راجوان[6]، ۲۰۱۰ در هندوستان؛ هیدالگو و همکاران[7]، ۲۰۱۰ در اسپانیا؛ واکازاکی[8]، ۲۰۱۱ در ژاپن، دانبرگ[9]، ۲۰۱۲ در آلمان؛ ماندل و همکاران[10]، ۲۰۱۲ در هند؛ جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲؛ آزادی و وکیلی، ۱۳۸۲؛ مسعودیان، ۱۳۸۳؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ نصرآبادی و مسعودیان، ۱۳۹۲؛ حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹؛ جهانبخش‌اصل و همکاران، ۱۳۹۹؛ امینی و همکاران، ۱۴۰۰ در زمینه رخداد باران‌های فرین، پژوهش‌های ارزشمندی ارائه داده‌اند.

امروزه مطالعه باران‌های فرین در جهان و ایران از اعتبار خاصی برخوردار شده است و اندیشمندان زیادی را به خود مشغول نموده است. به‌عنوان نمونه اسونسون و همکاران[11] (۲۰۰۱)، ویژگی‌های روزانه باران‌های سنگین ۳ و ۲۴ ساعته در اسکاتلند را که از آستانه معین تجاوز کرده بودند، بررسی کرده و بر این باورند که این‌گونه باران‌ها در اوایل صبح و عمدتاً توسط جبهه‌های گرم به وجود می‌آیند. چینگسن و همکاران[12] (۲۰۰۲)، باران‌های سنگین (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) بعدازظهرهای تایوان را طی فصل بارشی موردمطالعه قرار دادند و آن‌ها را در دو گروه جداگانه طبقه‌بندی کردند. ویلیام و همکاران[13] (۲۰۰۴)، باران‌های سنگین انگلستان را به سه دستهٔ: جبهه‌ای[14]، همرفتی[15] و کوهبارش تقسیم و زمان رخداد، محدودهٔ تأثیر و ویژگی‌های هر یک از سه نوع باران را بیان کردند. جیسن و همکاران[16] (۲۰۰۵)، باران‌های سنگین شمال راین- وستفالیا را با استفاده از داده‌های راداری و باران‌سنج‌های منطقه بررسی کرده و نشان دادند که تنها در صورتی می‌توان گسترهٔ مکانی یک باران سنگین (بیش از ۱۰۰ میلی‌متر) را تعیین کرد که داده‌های راداری در دست باشند. لنا و همکاران[17] (۲۰۰۷)، الگوهای جوی بوجودآورنده باران‌های روزانه بیش

1 Kunkel
2 Hidalgo et al
3 Haylock et al
4 Becker et al
5 Feidas
6 Pattanaika and Rajeevan
7 Hidalgo et al
8 Wakazuki
9 - Danneberg
10 Mondal et al
11 Svensson et al
12 Ching-Sen et al
13 William et al
14 Frontal Rainfall
15 Convectional Rainfall
16 Jessen et al
17 Lana et al

از ٦٠ میلیمتر سـنگین جزایر بالریک[1] را مطالعه کردند. سـپس با انجام تحلیل خوشـه‌ای[2] نشـان دادند تقریباً ۸۷ درصـد باران‌های سـنگین منطقه زمانی رخ می‌دهد که یک مرکز چرخندی در شـعاع ٦٠۰ کیلومتری جزایر واقع شـده باشـد. فنگ و همکاران[3] (۲۰۰۷)، مدل‌سـازی باران‌های فرین سـالانهٔ چین را با استفاده از توزیع مقادیر فرین تعمیم‌یافته[4] انجام دادند. نتایج نشـان داد روندهای کاهشـی عمدتاً در شـمال چین و روندهای افزایشـی در حوضـه رودخانه یانگ‌تسه و شـمال‌غرب چین مشـاهده شـدند. لی و همکاران[5] (۲۰۰۸)، رویداد باران سـنگین ۱۸ روزه در کُره جنوبی را بررسـی کردند. به اعتقاد آن‌ها، ناپایداری دگرفشـار[6] و رطوبت انباشـته، نقش عمده‌ای در پیدایش ناپایداری جو داشـته، و سبب باران‌های سـنگین طولانی‌مدتی بر روی شـبه‌جزیره کُره شـده است. کومر و همکاران[7] (۲۰۰۸)، باران سنگین ٢٦ ژوئیه سـال ۲۰۰۵ مومبائی[8] هند را به کمک مدل کاوش و پیش‌بینی هوا[9] بررسـی کردند. تحلیل آن‌ها نشان داد، منبع رطوبت این سـامانه، جریان‌های شـمال و شـمال‌غربی با منشأ دریای عرب بوده است. سن‌روی[10] (۲۰۰۹)، با بررسی باران‌های فرین سـاعتی در هند معتقد اسـت که روند افزایشی باران‌های سنگین در نواحی مرتفع هیمالایا، به‌ویژه در شمال غربی و دامنه هیمالایا مشـاهده می‌شـود. کایی و همکاران[11] (۲۰۱۸)، در بررسـی جفت پارامترهای رطوبت‌دهی در بارش‌های سـنگین منطقه‌ای، به این نتیجه رسـیدند که واگرایی و همگرایی، اساس تغییرات رودباد برای فراهم کردن رطوبت لازم برای بـارش‌هـای سـنگین اسـت. آجیل و همکاران[12] (۲۰۱۸)، با تحلیل دینامیکی بارش حدی در شـمال‌شـرق ایالات‌متحده بر اسـاس الگوهای هواشـناسـی بزرگ‌مقیاس به این نتیجه رسـیدند که فاکتورهایی چون انتقال یکپارچهٔ رطوبـت، همگرایی رطوبت لایه‌های زیرین جو و کمربندهای گرم سـبب تفاوت بین روزهای با و بدون بارش حدی در شـمال شـرق ایالات‌متحده می‌شوند. رحیمی و فاطمی[13] (۲۰۱۹)، با بررسی بارش ایران نشان دادند که مقادیر حدی بارش ایران دارای روندی افزایشـی اسـت و روند مثبت معنادار در جنوب‌غربی و سـواحل خلیج‌فارس بیشـتر اسـت. کاپانو و همکاران[14] (۲۰۲۱)، با تحلیل روند باران فرین در سـواحل جنوبی آفریقای غربی بر این باورند که بارش باران

1 Balearic: (مجموعه جزایر واقع در شرق اسپانیا در دریای مدیترانه)
2 Cluster Analysis
3 Feng et al
4 Generalized Extreme Value (GEV)
5 Lee et al
6 Baroclinic Instability
7 Kumar et al
8 Mumbai
9 Weather Research and Forecasting (WRF)
10 Sen-Roy
11 Kai et al
12 Agel et al
13 Rahimi and Fatemi
14 Kpanou et al

در کمربند ساحلی بیشتر از خشکی‌های داخلی آفریقا است و مقدار P95 برای ایستگاه‌های ساحلی و قاره‌ای به ترتیب به ۸۲ و ۵۲ میلی‌متر در روز می‌رسد.

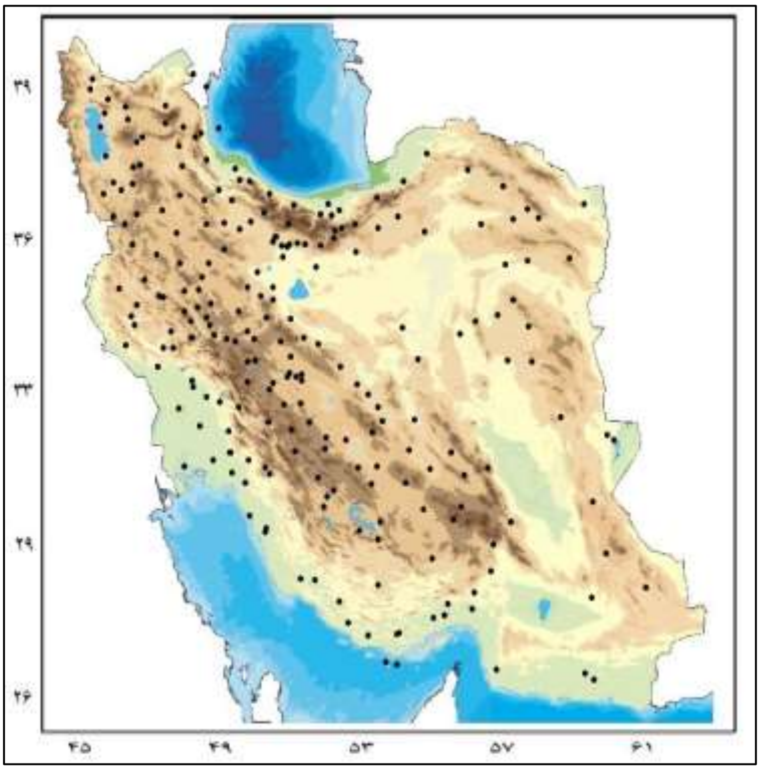
در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در زمینه باران‌های فرین و مخاطرات ناشی از آن انجام شده است. به‌عنوان نمونه؛ مسعودیان (۱۳۸۷)، معتقد است که دو الگوی گردشی در پدیدآمدن باران‌های سنگین بیش از ۱۰۰ میلیمتر ایران نقش دارند. الگوی اول با استقرار یک پرفشار بر روی دریای سیاه و گسترش ناوه خلیج‌فارس مشخص می‌شود. الگوی دوم با شکل‌گیری ناوه بر روی عراق و نفوذ زبانهٔ پرفشار سیبری – سیاه به درون ایران همراه است. این الگو عمدتاً در کرانه‌های خزر باران موجب باران می‌شود. حسینی (۱۳۸۸)، با واکاوی عوامل پویشی و گرماپویشی موجد باران‌های سنگین، شدید و فراگیر پهنه‌ی نیمه پربارش خزری بر این باور است که چون این‌گونه بارش‌ها اغلب در فصل پاییز رخ داده‌اند و در این فصل هنوز دریا گرمای ویژه خود را از دست نداده است، غالباً عامل صعود توده‌هوا و چگالش آن، همرفت (وزشی) دریای خزر است. منتظری (۱۳۸۸)، معتقد است امکان وقوع باران‌های فرین روزانه در سراسر ایران به‌جز سواحل دریای خزر در چهار ماه دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس وجود دارد که عموماً در ماه‌های اوت، سپتامبر و اکتبر رخ داده است. محمدی (۱۳۹۲)، با واکاوی روند بارش باران ایران نشان داد که روند افزایشی معناداری در آستانه باران‌های سنگین ایران به‌ویژه از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ مشاهده شده است که این مقدار افزایشی به‌طور متوسط، ۰/۵ میلیمتر در هرسال برآورد شده است. برزو و عزیزی (۱۳۹۳)، با استفاده از روش خوشه‌بندی، مؤلفه‌های مؤثر بر باران سنگین ایران را شناسایی نمودند و بر این باورند که در تحلیل عاملی از یازده مؤلفهٔ بارشی، دو مؤلفهٔ میانگین مجموع بارش سالانه و تعداد روزهای بارشی یک میلی‌متر در مجموع، ۸٦ درصد اثر را پوشش می‌دهد. داداشی‌رودباری و کاشکی (۱۳۹۸)، نشان دادند که الگوی هواسپهر در هنگام رخداد باران‌سنگین خراسان رضوی، ناوه ژرف مدیترانه است که محور فرود آن در شرق دریای مدیترانه قرارگرفته و دریای سرخ به‌عنوان منبع اصلی این بارش‌ها ایفا می‌کند. میریان و همکاران (۱۳۹۹)، بر این باورند که در زمان رخداد باران‌سنگین فراگیر در ایران، منطقهٔ همگرایی قوی در سطح کشور شکل گرفته که منطبق بر منطقهٔ واگرایی تراز میانی جو، صعود دینامیکی هوا را موجب شده است. در این شرایط، مقادیر تاوایی‌نسبی و تاوایی مطلق، منطبق بر بخش شرقی ناوه افزایش می‌یابد. رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۹)، با واکاوی سینوپتیکی باران‌های مداوم و سنگین تبریز نشان دادند که سه الگوی اصلی فشار تراز دریا در ایجاد این بارش‌ها مؤثر بوده و استقرار سردچال در غرب تبریز و همراهی سطح زمین، شرایط را برای ایجاد باران سنگین فراهم کرده است. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، بر این باورند که روند روزهای همراه با باران سنگین در حدود ۷ درصد از پهنه ایران، منفی و در ۹۳ درصد، روندی مشاهده نمی‌شود. نرخ کاهشی در تعداد روزهای همراه با باران سنگین در نواحی غرب کشور بیشتر است. امینی و همکاران (۱٤۰۰)، با ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی باران نشان دادند که بخش‌هایی از استان اردبیل در مجاورت با استان‌های گیلان و

آذربـایجـان شـــرقی بـه دلیـل تـأثیرپذیری از توده‌های هوا و بارش‌های جبهه خزری و مدیترانه‌ای، دارای تغییرپذیری بیشتری در مقادیر بارش در ماه‌های مختلف هستند.

با بررسـی پژوهش‌های صـورت گرفته مشخص می‌شود که در اغلب این‌گونه مطالعات، روند باران فرین و تحلیل همدیدی آن‌ها مدنظر بوده اســت و کمتر به تحلیل آماری با کمک تکنیک‌ها و شــگردهای محاســباتی پرداخته شــده اســت. لذا هدف از پژوهش حاضــر، واکاوی روزهای باران فرین در ایران اســت و برای نیل به این هدف از تحلیل خوشــه‌ای گونه‌های باران فرین اســتفاده شــده اسـت تا ضــمن شــناســایی مناطق در معرض خطر، اقدامات لازم برای جلوگیری یا کاهش خســارت‌های ناشــی از این‌گونه مخاطرات اعم از سـیل یا خشکسالی برای برنامه‌ریزان و مسئولان امر صورت گیرد.

۲- مواد و روش

در پژوهش حاضــر از داده‌های مربوط به مقدار باران روزانه ۲۳۵ ایســتگاه همدید با دســت‌کم ۲۰ ســال آماری در پهنۀ ایران‌زمین اسـتفاده شـده است که مقادیر باران را به‌صورت روزانه ثبت کرده‌اند. این داده‌ها از مرکز آمار و اطلاعات ســـازمـان هـواشـــنـاســی کشـــور بـه‌صـــورت خـام اســتـخـراج گـردیـد و پـایـگـاه داده‌هـای آن در متلب ایجاد شـد. این پایگاه برای ۲۳۵ ایسـتگاه همدید کشـور در بازۀ زمانی ۱۳٤۰/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۸/۱۲/۲۹ خورشیدی (برابر با ۲۱۵٤۹ روز) فراهم شـده اسـت (شـکل ۱). بنابراین پایگاه داده ایجادشـده، آرایه‌ای به ابعاد ۲۳۵×۲۱۵٤۹ دارد. سطرها نمایندۀ زمان و ستون‌ها نماینده ایستگاه‌ها هستند.



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های همدید موردبررسی در ایران

لازم به ذکر اســت که قبل از انجام تجزیه‌وتحلیل بر روی پایگاه دادهٔ فراهم شــده، صــحت و درســتی داده‌های ثبت شــده باران در هرکدام از ایســتگاه‌های موردمطالعه در طول دوره آماری توســط آزمون تصــادفی بودن و همگنی داده‌ها «ران تســـت[1]» کنترل کیفی و کمی شـــد. در برخی از ایســـتگاه‌ها، برخی از داده‌ها محل تردید بود؛ یعنی در تعدادی از روزها، بارشـی ثبت نشـده بود؛ در این‌گونه از موارد، مقادیر موردتردید با *NaN*[2] جایگزین شـد (مسـعودیان، ١٣٨٦). در این پژوهش همچنین برای محاســبات آماری از نرم‌افزار متلب[3] و برای ترســیم نقشــه‌ها از نرم‌افزارهای ســیســتم اطلاعات جغرافیایی (GIS[4]) و سـرفر[5] اسـتفاده شده است. بدین‌صورت که ابتدا پایگاه داده‌ها در نرم‌افزار متلب ایجاد و کدنویسـی شـد و پس از پیش‌پردازش و پردازش[6] اولیه، مورد تجزیه‌وتحلیل[7] آماری قرار گرفت و درنهایت با اسـتفاده از نرم‌افزار سـرفر و GIS و اسـکریپت‌نویسـی در محیط آن، داده‌ها تبدیل به نقشـه و نقشـه‌ها ترکیب و سـپس مورد واکاوی نهایی قرار گرفت.

1 Run test
2 Not a Number
3 Matrix Laboratory(MATLAB)
4 Geography Information System(GIS)
5 SURFER
6 Processing
7 Analysis

لازم به ذکر اســت که اطلاق صـفت فرین (اعم از ســنگین یا ابرســنگین) به باران، تا اندازهٔ زیادی تابع مکان و قلمرو جغرافیایی منطقهٔ دریافت بارش اســت. بوم ســازگان‌های طبیعی هر منطقه در طول زمان با بارش سالانهٔ خود و آستانهٔ زیاد یا کم انطباق یافته‌اند. به همین دلیل، مقدار بارانی که در یک ایســتگاه کم باران، باران ســنگین به‌حســاب می‌آید، ممکن اســت در منطقه‌ای مرطوب و پرباران، طبیعی و در حد بارش‌های معمول آن منطقه به شــمار آید (برزو و عزیزی، ۱۳۹۳). لذا در پژوهش حاضــر برای شــناســایی روزهای فرین باران ابتدا برای هرکدام از ۲۳۵ ایســتگاه موردبررســی، میانگین بلندمدت بارش در هر روز خورشــیدی طی دوره آماری محاسـبه شـد. سـپس روزهایی که باران روزانه آن‌ها بیشتر از میانگین بلندمدت همان روز بود به‌عنوان روز باران‌فرین تعریف شــد (حســینی، ۱۳۹۳). روش مورداســتفاده در این پژوهش برای شــناســایی روز بارش فرین این مزیت را دارد که برای هر ایســتگاه چه در مناطق پرباران شــمالی یا کم باران جنوبی کشــور واقع شــده باشــد، روز فرین به‌درستی و مختص هر ایستگاه تعیین می‌شود که سنگین بودن ریزش باران را با معیاری درســت و ایســتگاهی نمایش می‌دهد. درنهایت، روزهای فرین در هر ایســتگاه شمارش شد و سپس مورد واکاوی خوشــه‌ای قرار گرفت. در این پژوهش بر اســاس فواصل اقلیدسی[1] میان تعداد روزهای باران فرین ایران و به کمک روش پیوند وارد[2]، فرایند تحلیل خوشــه‌ای پایگانی (سـلسله مراتبی)[3] انجام گرفت. در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاســبه درجه ناهمانندی (همانندی) از فاصــلهٔ اقلیدســی و برای کاهش میزان پراش درون‌گروهی و افزایش همگنی گروه‌های حاصله از پیوند وارد استفاده می‌شود (رابطه ۱ و ۲: مسعودیان،۱۳۸۶):

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)'$$ رابطه ۱– فاصله اقلیدسی

که در این رابطه، d_{rs}^2 فاصـله اقلیدسی نقطه r ام به مختصات (φ_r, λ_r) و نقطه s ام به مختصات (φ_s, λ_s)؛ X_r، بردار مشاهدات روی r و X_s بردار مشاهدات روی s است.

پس از اندازه‌گیری درجه همانندی باید شـیوه‌ای برای ادغام اقلامی که بالاترین هماننــدی را نشـان داده‌اند استفاده کرد. شــیوه‌های مختلفی برای ادغام معرفی شــده‌اند که از آن جمله‌اند: پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوســط، پیوند وزنی، پیوند مرکزی، پیوند میانــه و پیونــد وارد. در پیوند وارد، گروه‌های r و s در صـورتی ادغام می‌شـوند که افزایش پراش ناشی از ادغـام آن‌هـا نسبت به ادغام هریک از آن‌ها با دیگر گروه‌ها، کمینه باشد:

$$d(r,s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)}$$ رابطه ۲– پیوند وارد

در این رابطه، d_{rs}^2 مربع فاصـله بین گروه r و گروه s اســت که به روش پیوند مرکزی به دست آمده باشد. n_r تعداد اعضای گروه r و n_s تعداد اعضای گروه s است.

1 Euclidean Distance
2 Ward Linkage
3 Hierarchical Clustering

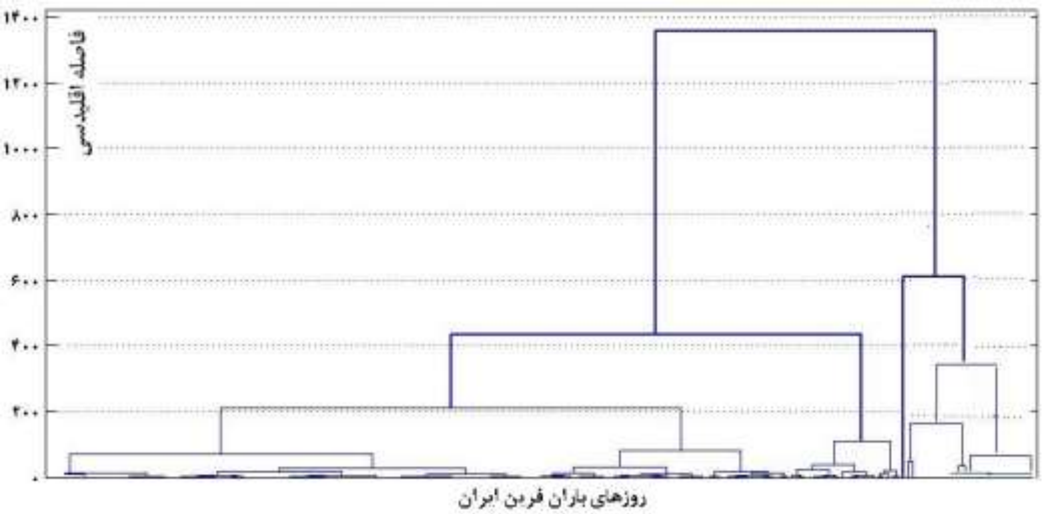
لازم به یادآوری است که در پژوهش حاضر برای تعیین تعداد الگوها (خوشه‌ها) از روش درونسو یا تجربی استفاده شده است. بدین معنی که پژوهشگر بر اساس تخصص یا تجربه و با فرایند آزمون‌وخطا، تعداد خوشه‌ها را تعیین می‌کند (یارنال[1]، ۱۹۹۳). لذا اگر تعداد خوشه‌ها کمتر از چهار خوشه تعیین می‌شد، روزهای فرین با همدیگر پیوند شده و تفاوت روزهای همراه با بارش نسبتاً سنگین از روزهای بارشی ابرسنگین آشکار نمی‌شد. اگر خوشه‌ها بیش از این تعداد نیز انتخاب گردد، علاوه بر تکرار و شباهت برخی روزها، تجانس درونی خوشه‌ها کم می‌شد و دسته‌بندی روزهای فرین از نظم منطقی برخوردار نبود.

۳- نتایج و بحث

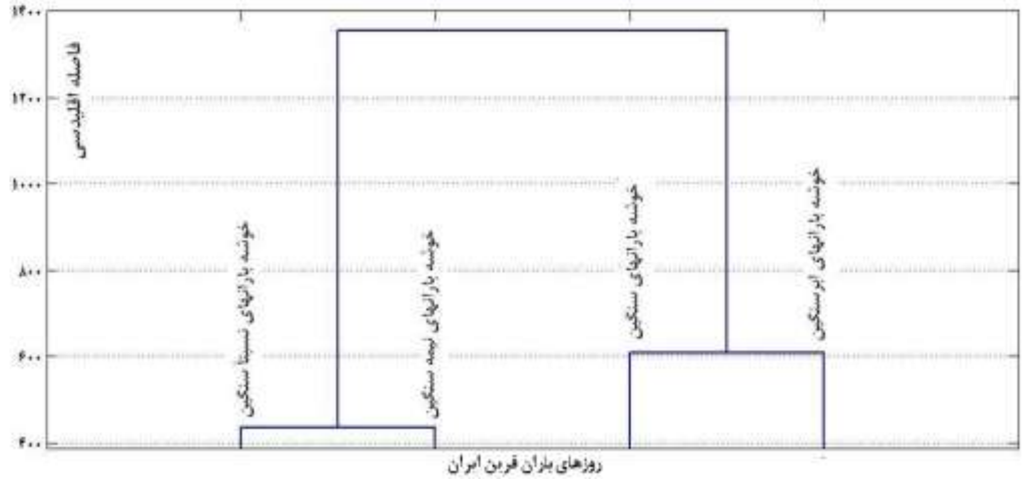
۳-۱- تحلیل خوشه‌ای روزهای باران‌فرین در ایران

با توجه به روش‌شناسی معرفی شده، درختواره‌نگار یا دارنمای[2] کلی و چهارگانه روزهای همراه با باران فرین ایران در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که از ماتریس فواصل مشخص می‌شود، خوشه بارش ۳ و ٤ (باران‌های سنگین و ابرسنگین)، کوتاه‌ترین فاصله یا کمترین ناهمانندی (بیشترین همانندی) را با هم داشته و در گام اول این دو خوشه با همدیگر پیوند شده‌اند. در گام بعد، خوشه ۱ و ۲ (باران‌های نسبتاً سنگین و نیمه سنگین) با هم پیوند خورده و درنهایت، به خوشه ۳ و ٤ ملحق می‌شوند. به‌طورکلی، نمودار شاخه‌درختی نشانگر آن است که در اولین مرحله، هر رویداد فرین بارشی، خود خوشه مجزایی بوده و بیشترین همانندی بین گروه‌ها برقرار بوده است و در مراحل بعد، خوشه‌ها کمترین همانندی و بیشترین ناهمانندی را با یکدیگر داشته‌اند و فاصله اقلیدسی بین آن‌ها زیادتر شده است تا جایی که به بالاترین قسمت در نمودار خوشه‌ای رسیده‌اند. در این پژوهش پس از ترسیم نمودارهای شاخه درختی روزهای باران فرین ایران، آماره‌های هر خوشه به تفکیک در جدول ۱، نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که خوشه باران نسبتاً سنگین در ایران با ۳۳ درصد فراوانی، ۸۷ درصد ایستگاه‌های موردبررسی را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که ایستگاه بندرانزلی با ۷٦٥ روز باران فرین، به‌تنهایی ۱۱ درصد از کل روزهای باران فرین ایران (٦۹۳۹ روز) را از آن خود کرده است.

1 Yarnal
2 Dendrogram



شکل ۲- دارنمای کلی تعداد روزهای باران فرین ایران



شکل ۳- دارنمای چهارگانه تعداد روزهای باران فرین ایران

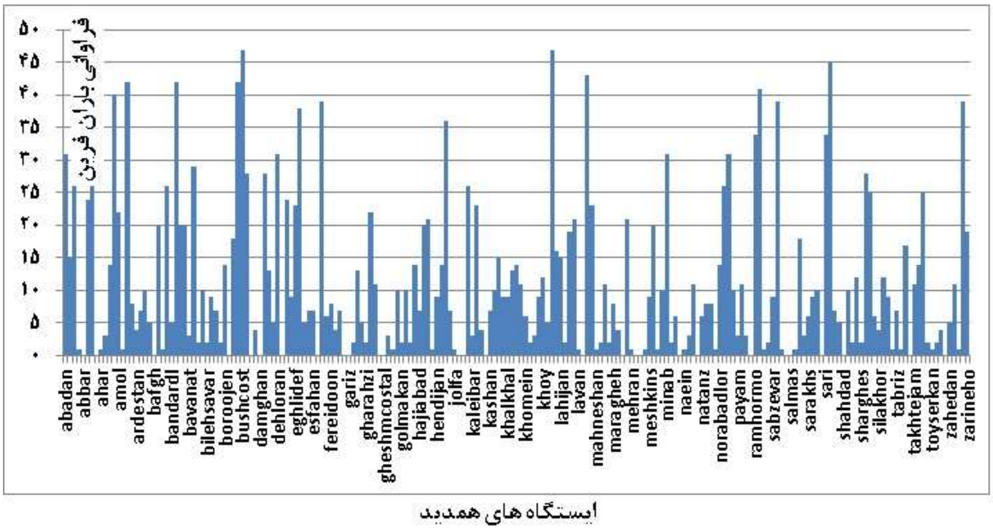
جدول ۱- آماره‌های خوشه‌باران‌های **فرین ایران**

آماره‌ها / نام خوشه	فراوانی روزهای باران فرین	درصد فراوانی روزهای باران فرین	تعداد ایستگاه‌های همدید در هر خوشه	درصد ایستگاه‌های همدید در هر خوشه	بیشترین فراوانی باران فرین	کمترین فراوانی باران فرین
خوشه یک (باران‌های نسبتاً سنگین)	۲۲۷۸	۳۳	۲۰۵	۸۷/۲	بوشهر با ۴۷ روز	زهک با صفر روز
خوشه دو (باران‌های نیمه سنگین)	۱۷۵۹	۲۵	۲۲	۹/۴	مریوان با ۱۲۲روز	اهواز با ۵۴ روز
خوشه سه (باران‌های سنگین)	۲۱۳۷	۳۱	۷	۳	رشت با ۴۸۷ روز	یاسوج با ۱۵۷روز

نام خوشه / آماره‌ها	فراوانی روزهای باران فرین	درصد فراوانی روزهای باران فرین	تعداد ایستگاه‌های همدید در هر خوشه	درصد ایستگاه‌های همدید در هر خوشه	بیشترین فراوانی باران فرین	کمترین فراوانی باران فرین
خوشه چهار (باران‌های ابرسنگین)	۱	۱۱	۱	۰/٤	بندرانزلی۷٦٥ روز	ـــــ
مجموع	٦۹۳۹	۱۰۰	۲۳٥	۱۰۰		

۳-۲- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه یک (باران‌های نسبتاً سنگین) در ایران

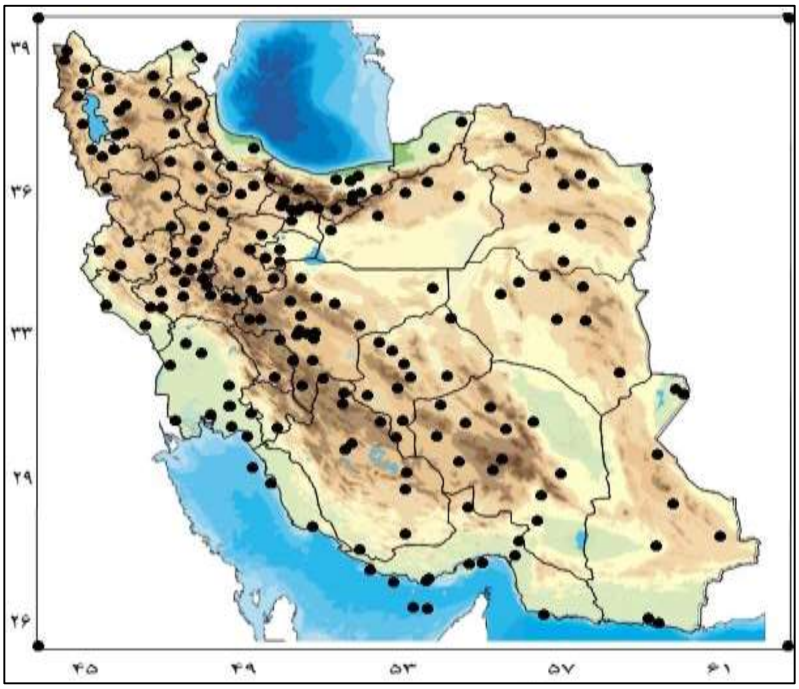
همان‌گونه که شکل٤ نشان می‌دهد در خوشه بارشی نخست که شامل باران‌های فرین کمتر از ٤۷ روز است، از مجموع ۲۳٥ ایستگاه همدید موردبررسی، ۲۰٥ ایستگاه یعنی حدود ۸۷ درصد ایستگاه‌ها مشارکت دارند. این خوشه بارش از ایستگاه‌هایی همچون ایستگاه ساحلی بوشهر و کیش با ٤۷ روز فرین شروع شده و تا ایستگاه‌های زهک و شهداد با هیچ روز فرین به پایان رسیده است. همچنین این خوشه، از مجموع ٦۹۳۹ روز فرین بارشی که برای کل ایران شناسایی شد، ۲۲۷۸ روز یا به عبارتی، ۳۳ درصد روزهای باران فرین ایران را به خود اختصاص داده است.



شکل ٤- فراوانی رخداد باران‌های نسبتاً سنگین ایران

پراکنش مکانی باران‌های نسبتاً سنگین در خوشه یک حاکی از این است که در بخش بزرگی از ایران، این‌گونه بارش‌ها رخ می‌دهد ولی رخداد آن‌ها در نیمه غربی و شمالی کشور به دلیل وجود ایستگاه‌های همدید زیادتر و شرایط جوی مساعدتر، فراوان‌تر است. البته لازم به ذکر است که در نواحی داخلی و شرقی کشور در صورت فراهم آمدن شرایط خاص جوی به‌تبع توپوگرافی منطقه، ممکن است این نوع از بارش اتفاق بیفتد. به‌هرحال خوشه یک،

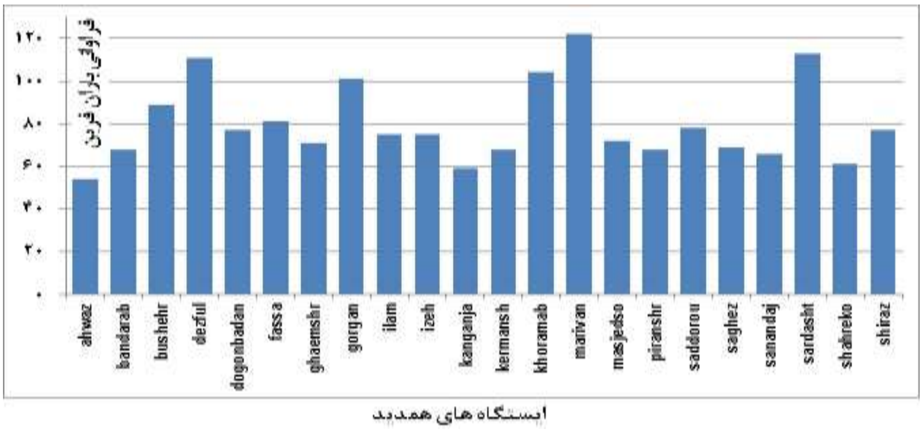
شـامل روزهای باران فرینی اسـت که پراکنش سـراسری در کشور دارند و در اغلب بخش‌های ایران مشاهده می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵- پراکنش مکانی باران‌های نسبتاً سنگین در ایران

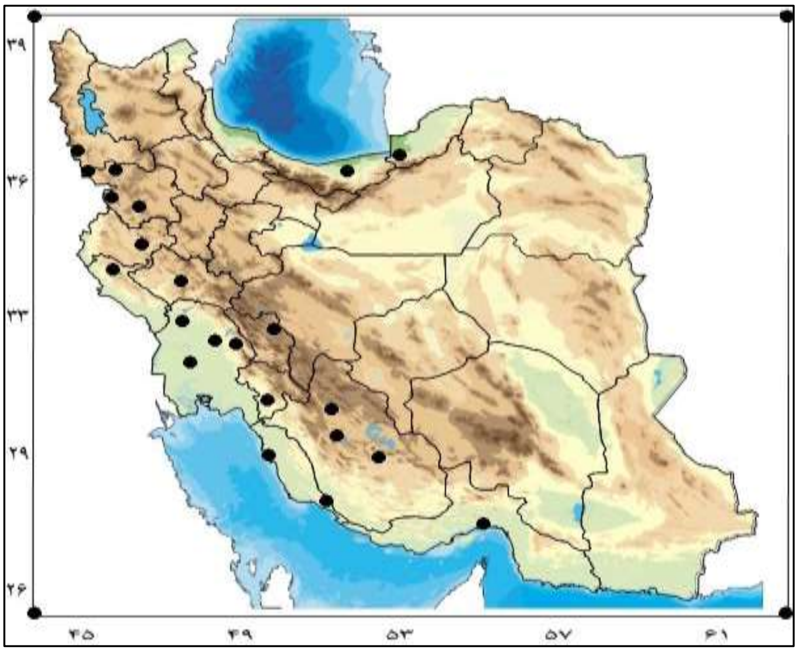
۳-۳- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه دو (باران‌های نیمه سنگین) در ایران

این خوشـــه‌بارش که شـــامل باران‌های نیمه‌ســـنگین ایران می‌شـــود، فقط ۹ درصـــد و یا به عبارتی از مجموع ۲۳۵ ایســـتگاه همدید، ۲۲ ایســـتگاه نقش‌آفرینی دارند. بالاترین رخداد فرین این خوشـــه با ۱۲۲ روز از آن مریوان در اســـتان کردسـتان و پایین‌ترین فراوانی نیز با ٥٤ روز به ایسـتگاه اهواز اختصاص دارد. همچنین مجموع فراوانی تعداد روزهای فرین این خوشه، ۱۷۵۹ روز یا معادل ۲۵ درصد از تعداد کل روزهای باران فرین کشور را در برمی‌گیرد (شکل٦).



شکل ٦- فراوانی رخداد باران‌های نیمه سنگین ایران

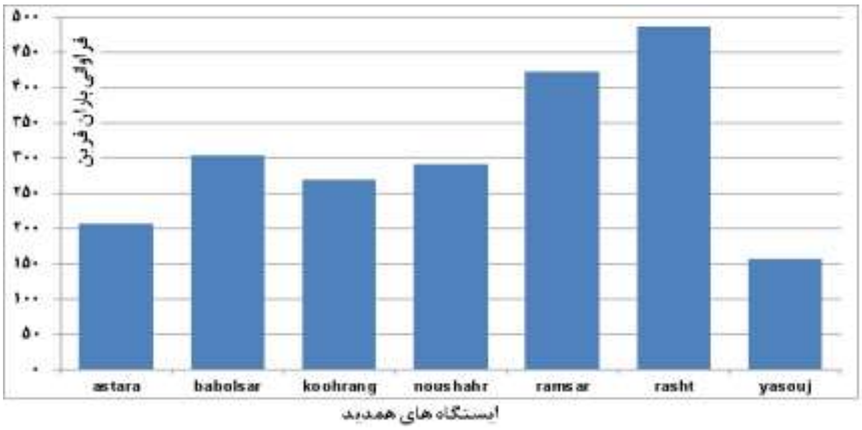
همچنان که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، پراکنش مکانی روزهای همراه با بارش‌های نیمه سنگین در ایران محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و به‌ویژه نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. چنین به نظر می‌رسد که بارش‌های فرین کرانه‌های شرقی خزر به سبب تغذیه رطوبتی از دریا، به همراه سامانه‌های همرفتی یا مهاجر منطقه رخ می‌دهند ولی در نیمه غربی ایران علاوه بر شرایط توپوگرافی ویژه این مناطق، سامانه‌های غربی که مسیر آن‌ها بر فراز دریای مدیترانه، خلیج‌فارس و حتی دریای سرخ می‌گذرد، مسبب تأمین رطوبت برای رخداد این‌گونه‌بارش‌ها هستند.



شکل ۷- پراکنش مکانی باران‌های نیمه سنگین در ایران

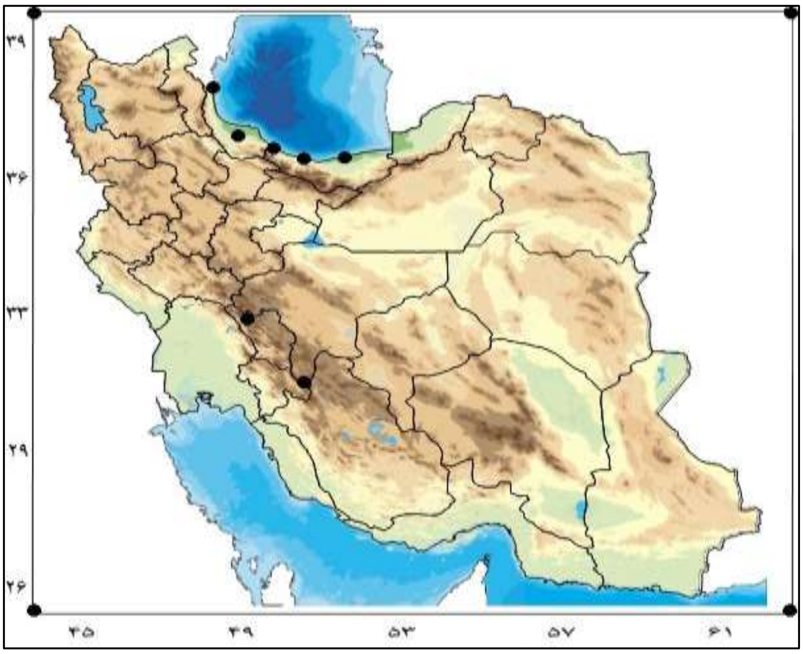
۳-٤- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه سه (باران‌های سنگین) در ایران

فراوانی رخداد باران‌های سـنگین در ایران حاکی از این اسـت که از مجموع ۲۳۵ ایستگاه همدید موردبررسی، فقط ۷ ایسـتگاه یا ۳ درصـد از ایستگاه‌های دارای باران‌های سنگین در این گروه قرار می‌گیرند. بالاترین و پایین‌ترین رویداد فرین در این خوشـه با ٤۸۷ و ۱۵۷ به ترتیب، به ایسـتگاه رشـت و یاسـوج اختصاص دارد. همچنین از مجموع ٦۹۳۹ روز فرین بارانی در کل ایران، ۲۱۳۷ روز یا معادل ۳۱ درصد آن، مربوط به این خوشه است (شکل ۸).



شکل ۸- فراوانی رخداد **باران‌های سنگین ایران**

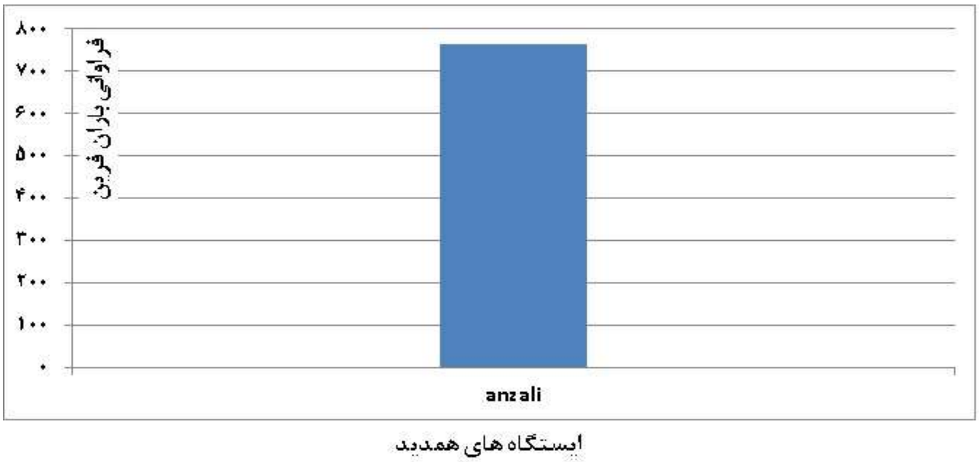
همچنین پراکنش مکانی تعداد روزهای همراه با باران سـنگین در ایران نشـان می‌دهد که از ۷ ایستگاه این خوشه، ۵ ایسـتگاه آسـتارا، بابلسـر، نوشـهر، رامسر و رشت در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و دو ایستگاه کوهرنگ و یاسوج در غرب کشـور واقع شـده است. این شرایط نشان می‌دهد که ایستگاه‌های باران سنگین ایران در دو قلمرو ساحلی دریای خزر و مناطق کوهسـتانی زاگرس واقع شـده‌اند. این قرارگیری به سـبب نزدیکی به دریا و ورود سـامانه‌های مهاجر باران‌زا از یک سـو و حالت بادسـوی ارتفاعات غربی و ورود سـامانه‌های مدیترانه‌ای از سـوی دیگر، منجر به رخداد بارش‌های سنگین در این ایستگاه‌ها می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹- پراکنش مکانی باران‌های سنگین در ایران

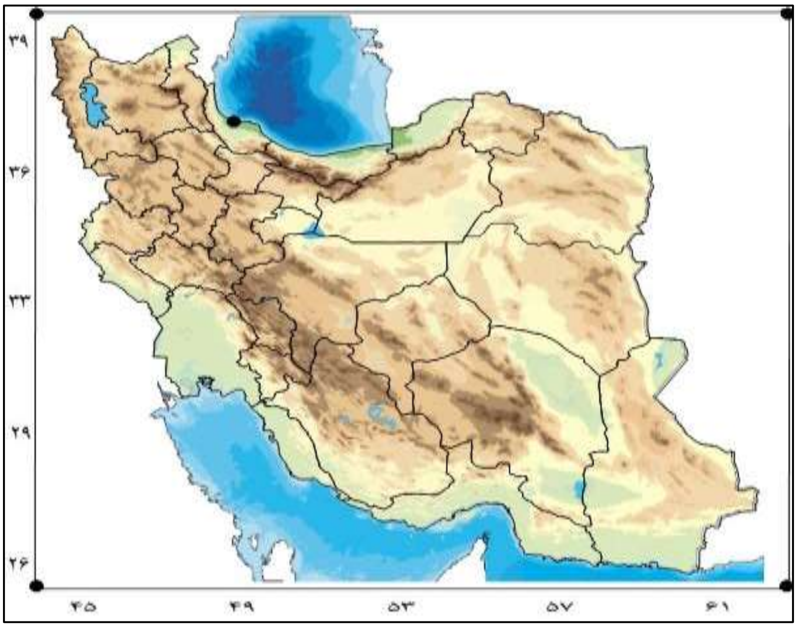
۳-۵- پراکنش مکانی روزهای باران فرین خوشه چهار (باران‌های ابرسنگین) در ایران

همان‌گونه که شکل ۱۰ نشان می‌دهد در این خوشه بارش که شامل باران‌های ابرسنگین کشور است، از ۲۳۵ ایستگاه موردبررسی در ایران، فقط ایستگاه بندرانزلی با فراوانی ۷٦٥ روز بارشی مشاهده می‌شود که کمتر از یک درصد ایستگاه‌ها را شامل می‌شود. به دیگر سخن، هیچ ایستگاهی در ایران وجود ندارد که بیشتر یا نزدیک به تعداد روزهای باران فرین انزلی (۷٦٥ روز)، بارش فرین داشته باشد. برای اثبات این ادعا می‌توان گفت که رتبه دوم باران فرین ایران مربوط به ایستگاه رشت با ٤۸۷ روز است که در خوشه سوم قرار گرفته و ۲۷۸ روز با بندرانزلی فاصله دارد؛ اما نکته جالب اینجاست که همین یک ایستگاه به‌تنهایی، ۱۱ درصد از کل تعداد روزهای بارش فرین کشور (٦۹۳۹ روز) را به خود اختصاص داده است و این میزان برای یک ایستگاه کشور رقم بسیار بالایی محسوب می‌شود.



شکل ۱۰- فراوانی رخداد باران‌های ابرسنگین ایران

همچنین نقشه پراکنش مکانی بارش‌های ابرسنگین ایران (خوشه چهار) نشان می‌دهد که در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، فقط ایستگاه بندرانزلی دارای بیشترین روزهای باران فرین است و این ایستگاه به‌تنهایی خوشه مجزایی را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد مجاورت این ایستگاه با دریای خزر، تقویت صعود همرفتی دریا و قرارگیری در مسیر چرخندی سامانه‌های کم‌فشار دریای سیاه و پرفشار سیبری، نقش مهمی در افزایش تعداد روزهای فرین این ایستگاه نسبت به دیگر ایستگاه‌های ایران دارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- پراکنش مکانی باران‌های ابرسنگین در ایران

٤- نتیجه‌گیری

فراسنج باران، از مهم‌ترین سنجه‌های آب و هوایی است که رفتاری سرکش، آشوبناک و دارای وردش‌های مکانی- زمانی شدیدتری نسبت به بسیاری از سنجه‌های آب و هواشناختی است. نتایج واکاوی خوشه‌ای روزهای باران فرین ایران نیز نشان داد که می‌توان روزهای باران فرین را به چهار خوشه بارش مجزا تفکیک نمود که خوشه اول (روزهای همراه با باران نسبتاً سنگین)، بیشترین فراوانی را با ۸۷ درصد ایستگاه‌ها و ۳۳ درصد از کل روزهای فرین را از آن خود نموده است. این خوشه عموماً شامل روزهای باران فرینی است که پراکنش سراسری در کشور دارند و در اغلب بخش‌های ایران مشاهده می‌شوند. در خوشه دوم که شامل باران‌های نیمه سنگین ایران می‌شود، فقط ۹ درصد از ایستگاه‌ها و ۲۵ درصد از تعداد کل روزهای باران فرین مشارکت دارند که محدود به چند ایستگاه در کرانه‌های شرقی دریای خزر و به‌ویژه نیمه غربی ارتفاعات زاگرس است. فراوانی رخداد باران‌های سنگین (خوشه سوم) در ایران نیز حاکی از این است که در این خوشه، فقط ۷ ایستگاه یا ۳ درصد از ایستگاه‌ها، دارای باران‌های سنگین هستند که ۳۱ درصد روزهای فرین را تبیین می‌کنند و قلمرو این خوشه در کرانه‌های جنوبی دریای خزر و غربی ارتفاعات زاگرس محدود به ایستگاه‌های آستارا، بابلسر، نوشهر، رامسر، رشت، کوهرنگ و یاسوج است. درنهایت خوشه ٤ که خوشه روزهای همراه با باران‌های ابرسنگین ایران است، از ۲۳۵ ایستگاه موردبررسی در ایران، فقط ایستگاه بندرانزلی با فراوانی ۷۶۵ روز بارشی مشاهده می‌شود که نزدیک به یک درصد ایستگاه‌ها را در برمی‌گیرد؛ اما نکته جالب اینجاست که همین یک ایستگاه به‌تنهایی، ۱۱ درصد از تعداد روزهای بارش فرین کشور را به خود اختصاص داده است و این میزان برای یک ایستگاه کشور، رقم بسیار بالایی است که نیازمند تدوین اصول و برنامه‌های مدون جهت بهره‌برداری بهینه و ذخیره‌سازی حجم بارشی مازادی است که می‌تواند در مواقع کم‌آبی و خشکسالی، نقش منبع تغذیه کننده و جبران‌کننده‌ای را برای کشورمان ایفا نماید؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر با افزایش باران فرین در سواحل دریای خزر و جنوب‌غرب ایران (رحیمی و فاطمی، ۲۰۱۹)؛ افزایش باران فرین کرانه‌های خزری (مسعودیان، ۱۳۸۷؛ حسینی، ۱۳۸۸)؛ افزایش باران فرین در نواحی کوهستانی (سن‌روی، ۲۰۰۹) مطابقت دارد. ضمن اینکه با نتایج پژوهش حجازی‌زاده و همکارن (۱۳۹۹) که معتقد به کاهش نرخ باران سنگین در غرب ایران هستند، همخوانی ندارد زیرا پژوهش حاضر نشان داد که ایستگاه‌های واقع در غرب ایران به سبب موقعیت خاص جغرافیایی در سلسله جبال زاگرس و نفوذ بادهای غربی، دارای روزهای باران فرین زیادی هستند. همچنین کاربست تکنیک واکاوی خوشه‌ای در این پژوهش با روش کار برزو و عزیزی (۱۳۹۳) و لنا و همکاران (۲۰۰۷) همپوشانی زیادی دارد.

قدردانی و تشکر

این پژوهش، بخشی از پروژه تحقیقاتی است که با حمایت مادی و معنوی بنیاد ملی نخبگان کشور و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تدوین شده است. از حمایت‌های بی‌دریغ بنیاد نخبگان و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح بی‌نهایت سپاسگزاریم.

کتابنامه

آزادی، مجید؛ رضازاده، وکیلی؛ ۱۳۸۲. پیش‌بینی عددی سامانه‌های زمستانی روی ایران: مطالعه مقایسه‌ای پارامترسازی‌های فیزیکی. هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه تبریز.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=164881

آلیسون، گراهام؛ ۲۰۱۰. *مجله سیاست دفاعی*، برگرفته از کتاب *مدیریت بحران و تصمیم‌گیری*. انتشارات دانشگاه تهران. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=144723

امینی، حامد؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ احمدی، محمد؛ ۱۴۰۰. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش با استفاده از شاخص‌های تغییرپذیری بارش در ایستگاه‌های بارانسنجی اردبیل. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، شماره ۱، ۲۴۰–۲۲۷. 10.22034/JEST.2020.32551.4044

بابائیان، ایمان؛ کریمیان، مریم؛ مدیریان، راحله؛ نوخندان، مجیدحبیبی؛ ۱۳۸۶. شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل اقلیمی RegCm3. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۰، ۷۲–۵۵.
10.22111/GDIJ.2007.3660

برزو، فرزانه؛ عزیزی، قاسم؛ ۱۳۹۳. پیشنهاد معیاری ساده برای برآورد بارش سنگین در مناطق مختلف ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۳، ۳۶۵–۳۴۷. 10.22059/JPHGR.2015.55335

جهانبخش‌اصل، سعید؛ ساری‌صراف، بهروز؛ عساکره، حسین؛ شیرمحمدی، سهیلا؛ ۱۳۹۹. واکاوی تغییرات زمانی – مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال ۲۰۱۶–۱۹۹۵. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، شماره ۱، ۱۰۶–۸۹. https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2926-fa.html

جوانمرد، سهیلا؛ باباییان، ایمان؛ بداق جمالی، جواد؛ شهاب‌فر، علیرضا؛ خزانه‌داری، لیلی؛ ۱۳۸۲. بررسی همبستگی بین تغییرات فشار قزاقستان– دریای عمان با نوسان‌های بارش ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۷۱، ۱۴۹–۱۳۴.
http://ensani.ir/fa/article/97327/

حجازی‌زاده، زهرا؛ حلبیان، امیرحسین؛ کربلائی‌درئی، علیرضا؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ ۱۳۹۹. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره ایران‌زمین. *مخاطرات محیط طبیعی*، شماره ۲۳، ۱۵۰–۱۳۵.
https://jneh.usb.ac.ir/article_5035.html

حسینی، سید محمد؛ ۱۳۸۸. شرایط همدیدِ همراه با بارش در پهنه نیمه پربارش خزری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، استاد راهنما: دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیای طبیعی. https://www.virascience.com/thesis/509874

حسینی، سید محمد؛ ۱۳۹۳. واکاوی همدید پرفشار دریای سیاه و نقش آن در تغییرات دما و بارش ایران‌زمین. رساله دکتری اقلیم شناسی، استادان راهنما: دکتر سعید موحدی و دکتر سید ابوالفضل مسعودیان، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیای طبیعی. https://lib.ui.ac.ir/inventory/3/11756.htm

داداشی‌رودباری، عباسعلی؛ کاشکی، عبدالرضا؛ ۱۳۹۸. ارزیابی همدیدی بارش سنگین ۹ فروردین ۱۳۸٦ استان خراسان رضوی. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، شماره ۲۹، ۹۰-۷۵. http://ensani.ir/fa/article/491794

رحیم‌زاده، فاطمه؛ عسگری، احمد؛ ۱۳۸۵. مطالعه تغییرپذیری بارش دهه‌های اخیر ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ٦، ۸۰-٦۷. https://journals.ut.ac.ir/article_18090.html

رضایی بنفشه، مجید؛ جعفری شندی، فاطمه؛ حسینعلی‌پور، فرشته؛ ۱۳۹۹. واکاوی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ‌های مؤثر بر رخداد بارش‌های مداوم و سنگین تبریز. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۷۱، ۱۲۳-۱۰۵. 10.22034/GP.2020.10533

صادقی، حدیث؛ محمدی، حسین؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ بازگیر، سعید؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ صوفی زاده، سعید؛ ۱۳۹۸. دورنمای تغییرات نمایه‌های بارش سواحل جنوبی دریای خزر در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ برای کاهش مخاطرات. *مدیریت مخاطرات محیطی*، شماره ٤، ٤۲۱-۳۹۵. 10.22059/JHSCI.2020.297979.540

عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود؛ ۱۳۸۲. مطالعه تغییر اقلیم در کرانه جنوبی دریای خزر به روش من کندال. *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ٦٤، ۲۸-۱۳. https://jphgr.ut.ac.ir/article_26903.html

علیجانی، بهلول؛ خسروی، محمود؛ اسماعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۸۹. تحلیل همدیدی بارش سنگین ششم ژانویه ۲۰۰۸ در جنوب شرق ایران. *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، شماره ۳ و ٤، ۱٤-۳.
https://library.tebyan.net/fa/53915/

علیجانی، بهلول؛ هوشیار، محمد؛ ۱۳۸۷. واکاوی الگوی سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ٦۵، ۱٦-۱. 10.22111/JNEH.2017.20401.1268

محمدی، بختیار؛ ۱۳۹۲. تحلیل روند سالانه آستانه بارش‌های سنگین ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، شماره ۱۰۸، ۱٦۳-۱۷٦. https://georesearch.ir/article-1-513-fa.html

محمدی، پروین؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۹. سنجش و تحلیل ظرفیت سازگاری جوامع محلی به مخاطرات اقلیمی (روستاهای سفیدبرگ و بیوندسفلی، شهرستان جوانرود). *مدیریت مخاطرات محیطی*، شماره ۱، ٥٤-۳۹. 10.22059/JHSCI.2020.299401.549

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۳. روند بارش در نیم سده اخیر. *فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*. شماره ۲، ۷۲-٦۳.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=29684

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸٦. واکاوی تیپ‌های هوای اصفهان، طرح پژوهشی، دانشگاه اصفهان.
https://civilica.com/doc/71501/

مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. واکاوی شرایط همدید همراه با بارش‌های ابرسنگین ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع ایران، ۲۳ الی ۲۵ مهرماه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
https://elmnet.ir/article/2128293-19427/

منتظری، مجید؛ ۱۳۸۸. تحلیل زمانی- مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۲، ۱۲۵-۱۴۰. 20.1001.1.20085362.1388.20.2.7.6

میریان، مینا؛ کرم‌پور، مصطفی؛ مرادی، محمد؛ قائمی، هوشنگ؛ ۱۳۹۹. شناخت الگوهای دینامیکی و ترمودینامیکی بارش‌های سنگین فراگیر زمستانهٔ ایران در بازه زمانی ۱۹۶۰-۲۰۱۰. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۱، ۱۱۱-۹۵. 10.22059/jphgr.2020.286988.1007428

نصرآبادی، اسماعیل؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. واکاوی روند نیم سده بارش شبکه‌ای پایگاه آفرودیت در ایران. *مجله اندیشه جغرافیایی*، شماره ۱۳، ۲۸-۹. http://geonot.znu.ac.ir/article_20840.html

Agel L, Barlow M, Colby F, Binder H, Catto J, Hoell A, Cohen J., 2018. Dynamical analysis of extreme precipitation in the US northeast based on large-scale meteorological patterns, Journal of Climate Dynamics. 52: 1739–1760. https://doi.org/10.1007/s00382-018-4223-2

Arora VK, Boer GJ., 2001. Effects of Simulated Climate Change on the Hydrology of Major River Basins, Journal of Geophysics Research. 106 :3335-3348. https://DOI:10.1029/2000JD900620

Becker S, Hartmann H, Zhsng Q, Wu Y, Tiang T., 2007. Cyclist analysis of Precipitation regimes in the Yangtze River Basin, China. International Journal Climatology. 33: 225-238. https://doi.org/10.1002/joc.1572

Ching-Sen C, Lin Chuan-Yao, Chuang Yin-Jin, Yeh Hsi-Chyi., 2002. A study of afternoon heavy rainfall in Taiwan during the mei-yu season, Atmospheric Research. 65: 129–149. DOI:10.1016/S0169-8095(02)00061-3

Church JA, Gregory JM, Huybrechts P, Kuhn M, Lambeck K, Nhuan MT, Qin D, Woodworth PL., 2001. Changes in sea level. In: Houghton, the Scientific Basis. Cambridge University Press, Cambridge. 639-693. hdl:10013/epic.15081.d001

DannebergJ., 2012. Changes in Run off Time Series in Thuringia, Germany Mann-Kendall Trend Test and Extreme Value Analysis, Advance Geosci. 31: 49–56. https://doi.org/10.5194/adgeo-31-49-2012

Feidas H, Noulopoulou Ch, Makrogiannis T, Bora-Senta E., 2007. Trend Analysis of Precipitation Time Series in Greece and their Relationship with Circulation using Surface and Satellite Data: 1955–2001, Theoretical and Applied Climatology. 87:155–177. https://doi.org/ 10.1007/s00704-006-0200-5

Feng S, Saralees N, Qi Hu., 2007. Modeling Annual Extreme Precipitation in China Using the Generalized Extreme Value Distribution, Journal the Meteorological Society of Japan. 5: 599-613. https://doi.org/10.2151/jmsj.85.599

Haylock MR, Peterson TC, Alves LM, Ambrizzi T, Anunciacao YM, Baez J, Barros VR, Berlato MA, Bidegain M, Coronel G, Corradi V, Garacia VJ, Grimm AM, Karoly D, Marengo JA, Marino MB, Moncunill DF, Nechet D, Quintan J, Rebello E, Rusticucci M, Santos JL, Trebejo I, Vincent LA., 2005. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, Journal of Climate. 19: 1490-1512. https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1

Hidalgo C, Brunetti1 M, Luis M., 2010. Precipitation Trends in Spanish Hydrological Divisions, 1946–2005, Climate Research. 43: 215–228. DOI:10.3354/cr00937

Hidalgo C, Luis M, Raventos J, Sanchez JR. 2003. Daily Rainfall Trend in the Valencia Region of Spain, Theoretical and Applied Climatology. 75: 117–130. DOI:10.1007/s00704-002-0718-0

Hofmann ME, Hinkel J, Wrobel M., 2011. Classifying Knowledge on Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability in Europe for Informing Adaptation Research and Decision-Making: A Conceptual Meta-Analysis, Global Environmental Change. 21:1106-1116. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.011

Jessen M, Thomas E, Andre S, Bernd M., 2005. Analysis of heavy rainfall events in North Rhine–Westphalia with radar and rain gauge data, Atmospheric Research. 771:337–346. DOI:10.1016/j.atmosres.2004.11.031

Kai Y, Zhiwei Z, Li M., 2018. A pair of new moisture dynamic diagnostic parameters for heavy rain location, Meteorology and Atmospheric Physics. 130: 325–331. https://doi.org/10.1007/s00703-017-0522-0

Kpanou M, Laux P, Brou T, Vissin E, Camberlin P, Rocou P., 2021. Spatial patterns and trends of extreme rainfall over the southern coastal belt of West Africa. Theoretical and Applied Climatology. 143: 473–487. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03441-8

Kumar A, Dudhia J, Rotunno R, Mohanty UC., 2008. Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and Forecasting WRF) model, Q. J. R. Meteorol. Soc. 134: 1897–1910. https://doi.org/10.1002/qj.325

Kunkel KE., 2003. North American Trends in Extreme Precipitation, Natural Hazards, 29: 291–305. https://doi.org/10.1023/A:1023694115864

Lana AJ, Campins A, Jans A., 2007. Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic Islands, J. Geosciences. 12: 27-32. DOI:10.5194/adgeo-12-27-2007

Lee Dong-Kyou, Jeo-ngGyun PJ., 2008. Heavy rainfall events Lasting 18 days from July 31 to August 17, 1998, over Korea, J. Meteorological Society of Japan. 2: 313-333. https://doi.org/10.2151/jmsj.86.313

Mondal A, Kundu S, Mukhopadhyay A., 2012. Rainfall Trend Analysis by Mann-Kendall Test: A Case Study of North-Eastern Part of Cuttack District, Orissa, International Journal of Geology, Journal of Earth and Environmental Sciences. 2: 70-78. https://www.scirp.org/

Pattanaika DR, Rajeevan M., 2010. Variability of Extreme Rainfall Events over India during Southwest Monsoon Season, Theoretical and Applied Climatology. 17:88-104.
https://doi.org/10.1002/met.164

Radinović D. Ćurić M., 2012. Measuring Scales for Daily Temperature Extremes, Precipitation and Wind Velocity, Meteorological Applications. 21: 461-465. https://doi.org/ 10.1002 /met.1356

Rahimi M, Fatemi SS., 2019. Mean versus Extreme Precipitation Trends in Iran over the Period of 1960–2017. Pure and Applied Geophysics. 3: 1-19. DOI:10.1007/s00024-019-02165-9

SenRoy, S., 2009. A spatial analysis of extreme hourly precipitation patterns in India". International Journal Climatol. 29:45-355.
https://doi.org/10.1002/joc.1763

Silver, J., 2008. Global Warming and Climate Change Demystified, McGrow Hill Companies. https://www.amazon.com/

Svensson, C., Jakob, D and Reed, D., 2001. Diurnal Characteristics of Heavy Precipitation According to Weather Type at an Upland in Scotland. International of climatology. 22, 569-585. https://doi.org/10.1002/joc.672

Wakazuki, Y., 2011. New Distribution Functions for Hourly and Daily Precipitation Intensities during the Snowless Season in Japan, Journal of the Meteorological Society of Japan. 89:29-45. https://doi.org/10.2151/jmsj.2011-103

William, H., Hand, Neil I., F, Christopher. G. Collier., 2004. A Study of Twentieth-Century Extreme Rainfall Events in the United Kingdom with Implications for Recasting, Meteorology Apply. 11: 15-31. 10.1017/S1350482703001117

Yarnal, B., 1993. Synoptic climatology in environmental analysis, Belhaven Press, London. https://doi.org/10.1002/joc.3370140116

Yu, P. S., Yang, T. C., Wu, C. K., 2002. Impact of Climate Change on Water Resources in Southern Taiwan, Journal of Hydrology. 2:161-175. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00614-X